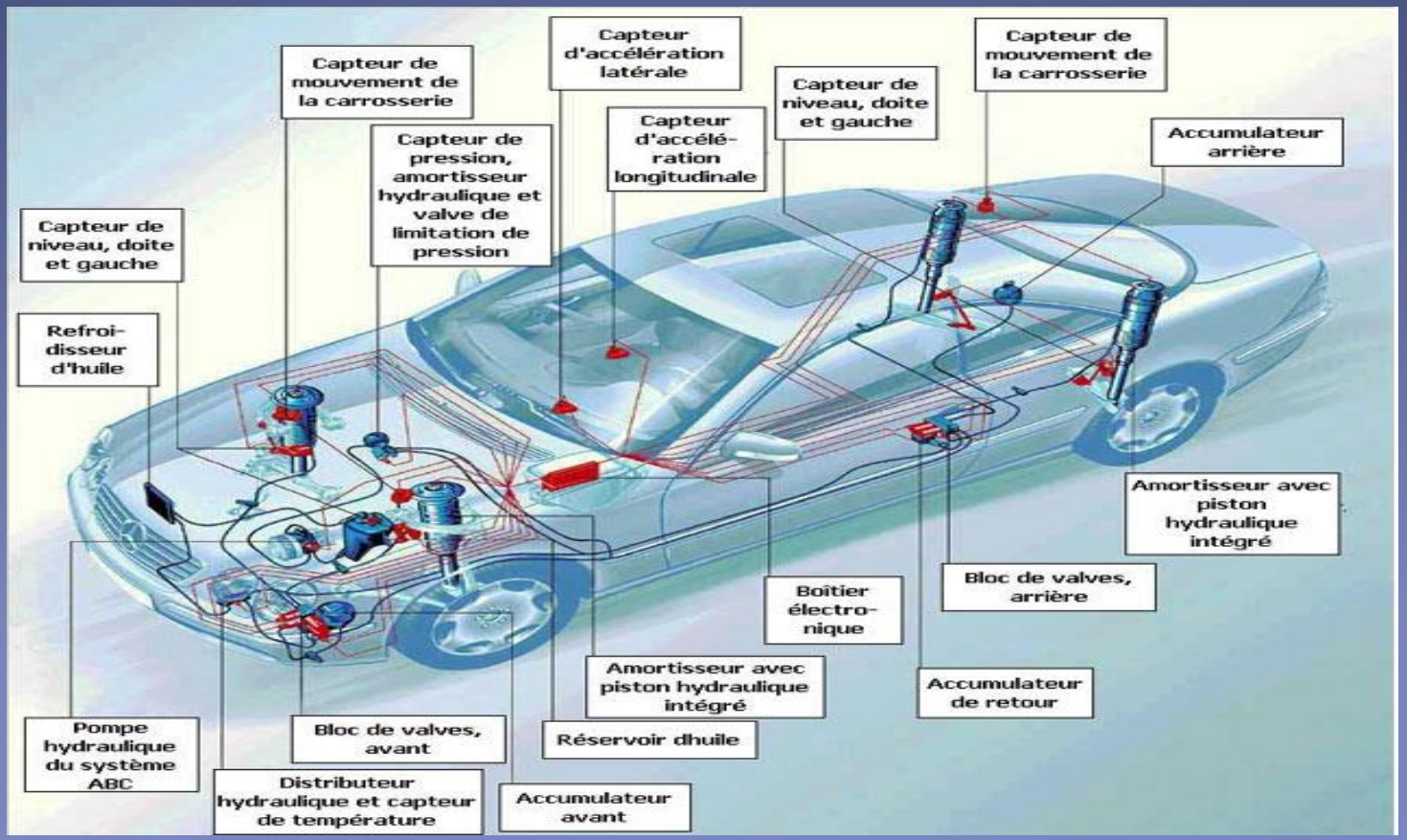
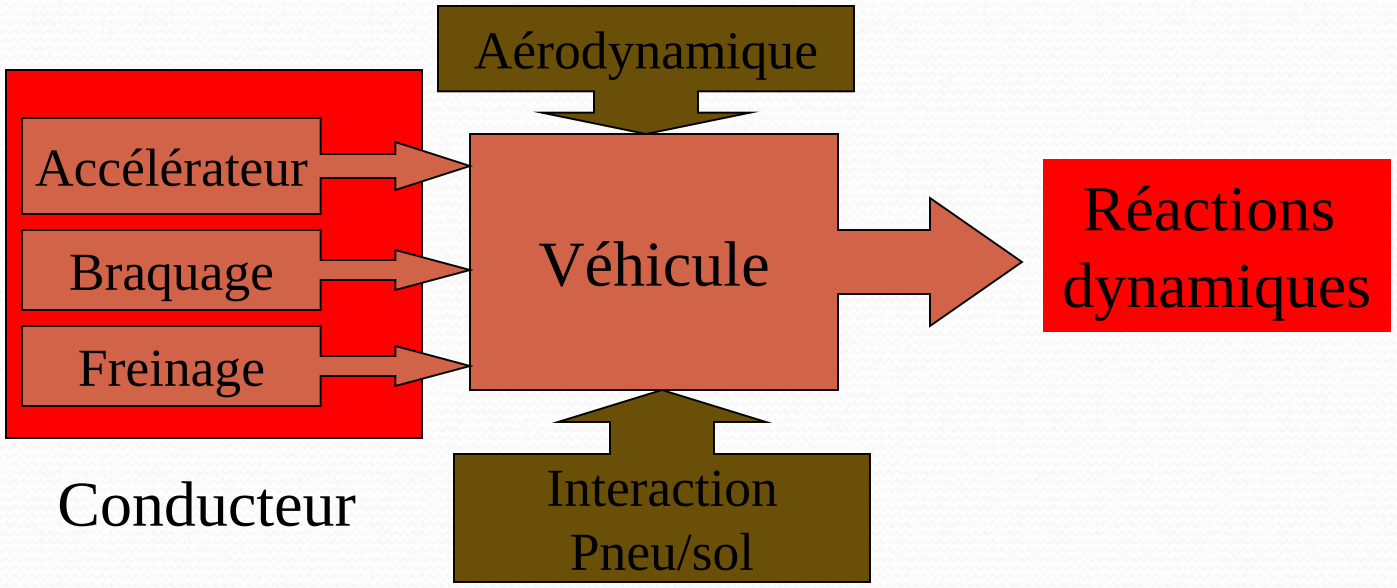
Dynamique du véhicule


Capteur de mouvement de la carrosserie
Capteur d'accélération latérale
Capteur de mouvement de la carrosserie
Capteur de niveau, doite et gauche
Capteur de pression, amortisseur hydraulique et valve de limitation de pression
Capteur d'accélé-ration longitudinale
Accumulateur arrière
Capteur de niveau, doite et gauche
Refroi-disseur d'huile
Amortisseur avec piston hydraulique intégré
Bloc de valves, arrière
Boîtier électro-nique
Amortisseur avec piston hydraulique intégré
Accumulateur de retour
Pompe hydraulique du système ABC
Bloc de valves, avant
Réservoir dhuile
Distributeur hydraulique et capteur de température
Accumulateur avant

Dynamique du véhicule

Etudier la dynamique du véhicule : analyser et comprendre les interactions du véhicule avec :

- Environnement : Air et sol
- Conducteur : actions de commande (braquage, accélération et freinage).



Statistiques

- Nombre de voitures dans le monde
  - En 1970 : 246 000 000
  - En 2005 : plus 800 000 000 , En 2008 +1 Milliards.
- Nombre de voitures fabriquées
  - En 1970 : 30 000 000
  - En 2005 : plus 65 000 000, En 2008 : (144Veh de plus/min)
- Nombre d'accidents en US
  - En 1998 : 6 336 000 (37 071 décès). (+1,3 millions de décès dans le monde).
- Nombre de décès dans le monde : 1 mort/min.
- 90 % des accidents sont dus aux erreurs humaines

Solutions

- Véhicules propres et sûrs de fonctionnement.
- Intégration des systèmes d'aide à la conduite.
- Améliorer le confort dans les véhicules.

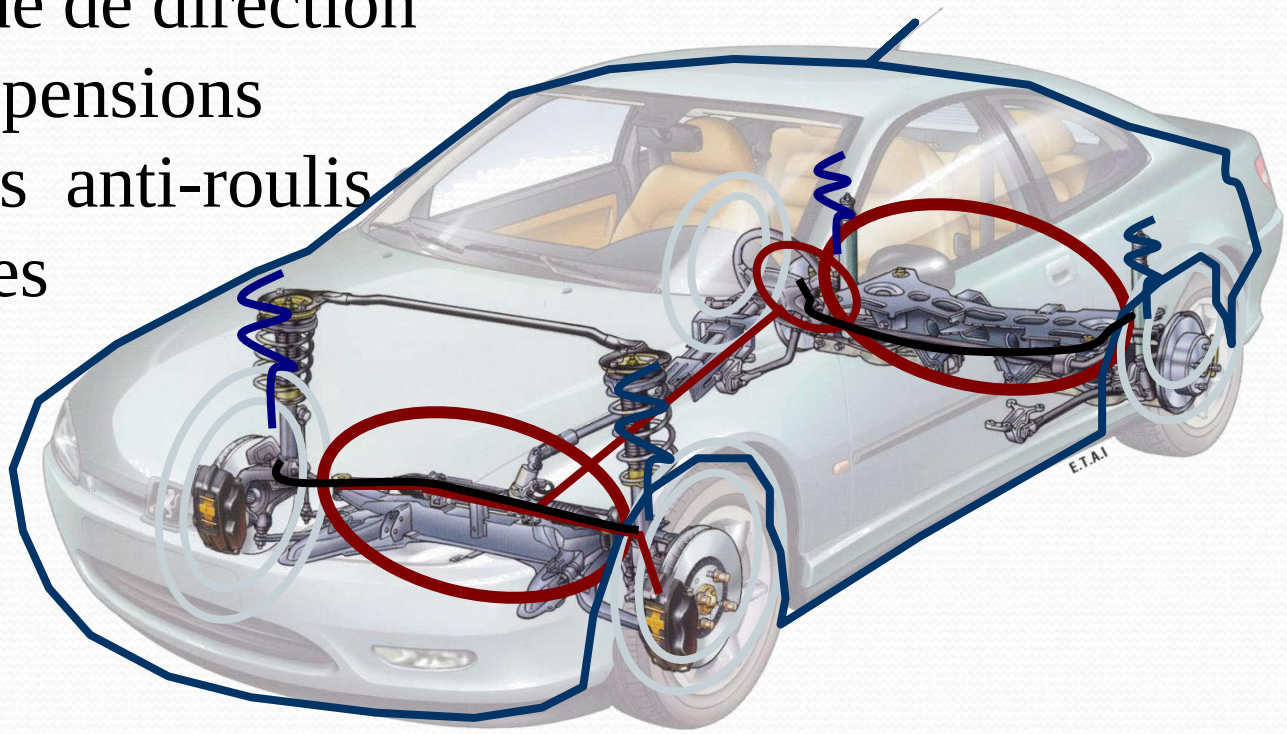
L'augmentation de l'utilisation des voitures à travers le monde a motivé la nécessité de développer des véhicules qui :

- optimisent l'utilisation des routes et les sources d'énergie,
- Ont moins impact sur l'environnement.
- sont confortables et sûrs,

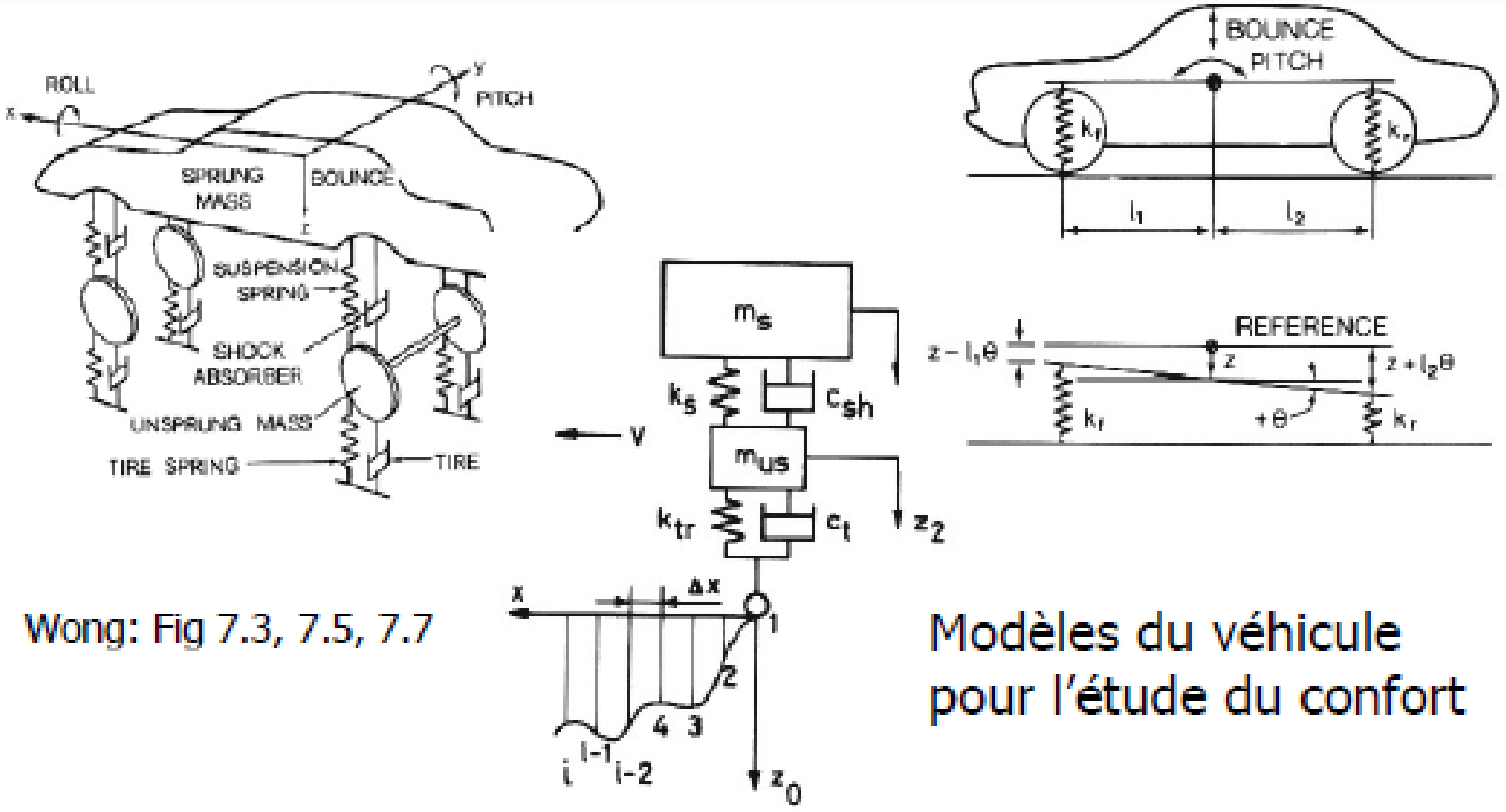
Description

La véhicule est composé de

- Une caisse ou châssis
- Deux trains
- Une colonne de direction
- Quatre suspensions
- Deux barres anti-roulis
- Quatre roues



Modèles du véhicule



Wong: Fig 7.3, 7.5, 7.7

Modèles du véhicule pour l'étude du confort

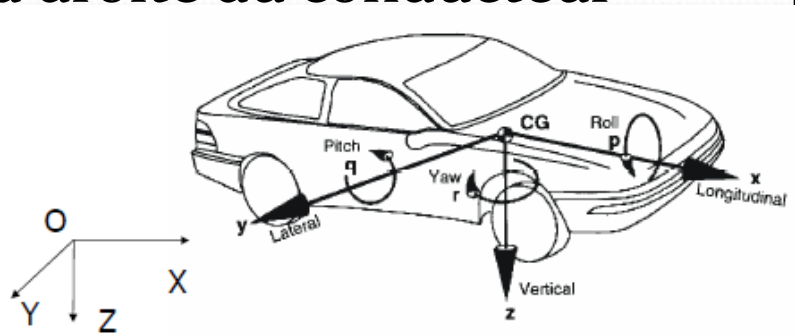
Modèles du véhicule

- Pour les mouvements d'accélération, de freinage et de virage, le véhicule est considéré comme un corps rigide, qui peut être caractérisé par son centre de masse (ou de gravité), sa masse et son tenseur d'inertie giratoire.

- Pour la prise en compte du roulis et l'étude du confort, il est nécessaire de dissocier les roues et la suspension (masses non suspendues) et la caisse (masse suspendue)

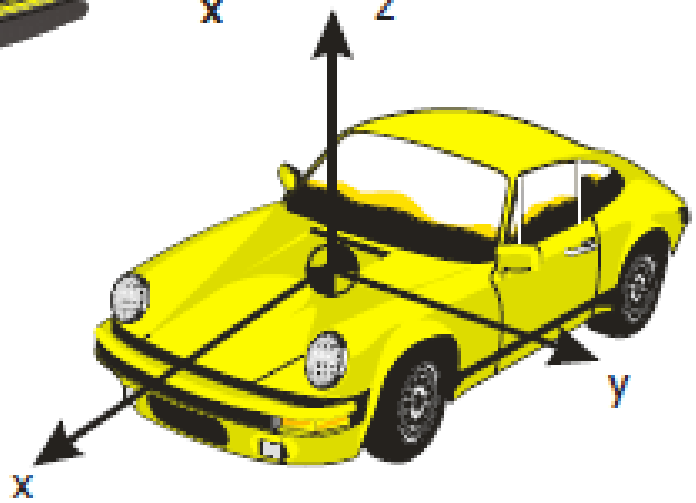
Systèmes d'axes du véhicule rigide

- Système terrestre inertiel (fixe)
  - X direction de déplacement de référence ou initiale
  - Y déplacement vers la droite
  - Z selon la verticale (vers le bas)
- Système d'axes du véhicule (Convention SAE):
  - x selon la direction d'avance et le plan de symétrie du véhicule
  - y selon la direction latérale et à droite du conducteur
  - z selon la verticale (vers le bas)
  - o, origine au centre de masse



Systèmes d’axes du véhicule rigide

Système SAE



Système ISO

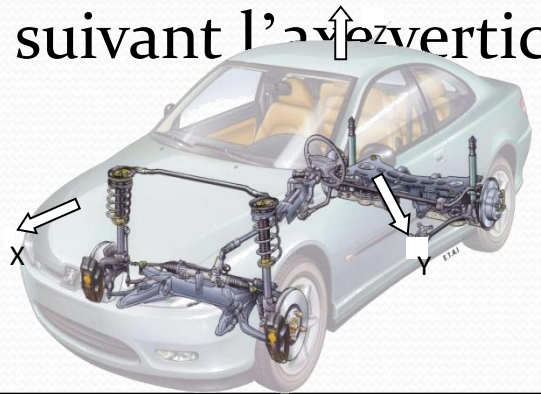
Comparaison des conventions SAE et ISO/DIN pour les systèmes d’axes

Présentation générale

Position et orientation de la caisse par rapport au sol : 6 degrés de liberté

3 mouvements de translation :

- Avance : translation suivant l'axe longitudinal x
- Ballant : translation suivant l'axe transversal y
- Pompage : translation suivant l'axe vertical z



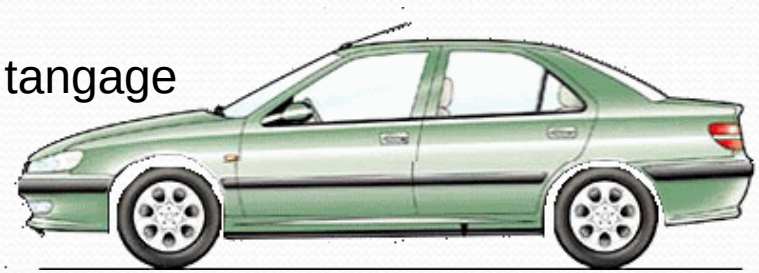
Présentation générale

3 mouvements de rotation:

- Roulis : rotation autour de l'axe longitudinal X
- Tangage: rotation autour de l'axe latéral Y
- Lacet : rotation autour de l'axe vertical Z

roulis

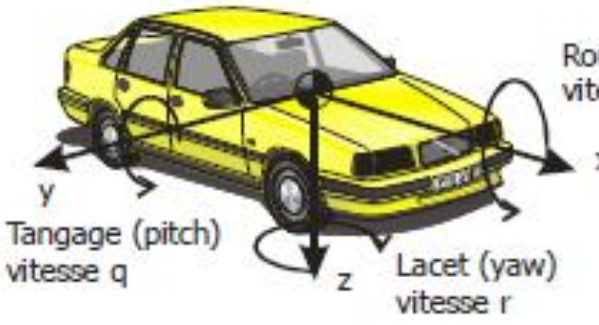
tangage



Variables du mouvement

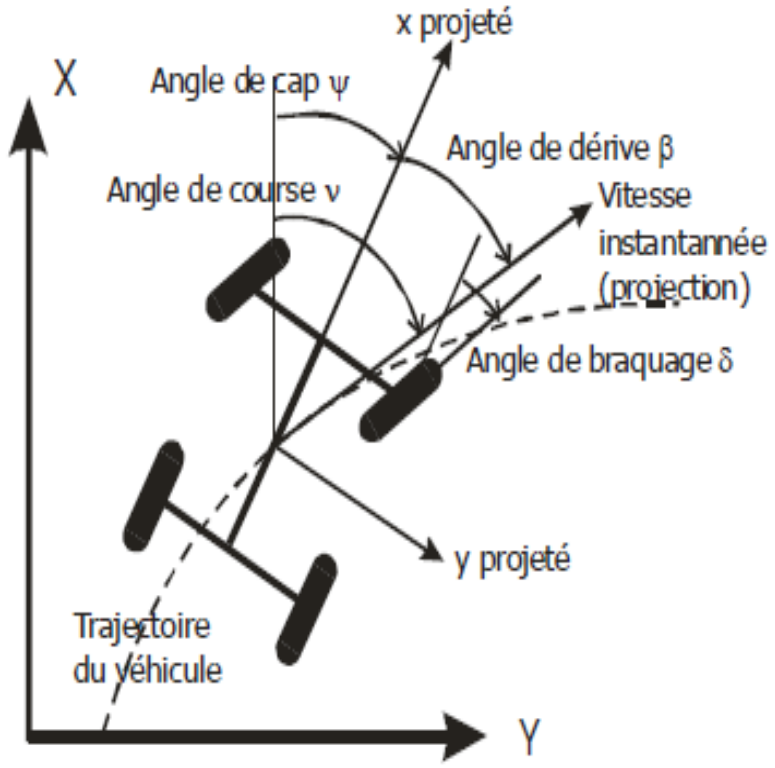
Mouvement examiné dans le système d'axes attaché au véhicule oxyz:

- *u* vitesse d'avancement (selon la direction d'avance)
- *v* vitesse latérale (+ à droite)
- *w* vitesse verticale (+ vers le bas)
- *p* vitesse de rotation selon l'axe x (roulis)
- *q* vitesse de rotation selon l'axe y (tangage`
- *r* vitesse de rotation autour de z (lacet)



Variables du mouvement

Variables du mouvement



Définition des angles:

- ψ angle de cap (angle entre la direction x et X dans le plan du sol)
- ν angle de course (angle entre le vecteur vitesse instantanée du véhicule et l'axe X)
- β angle de dérive (angle entre l'axe x du véhicule et l'angle du vecteur vitesse instantanée)
- $\nu = \psi + \beta$

Interaction avec l’environnement

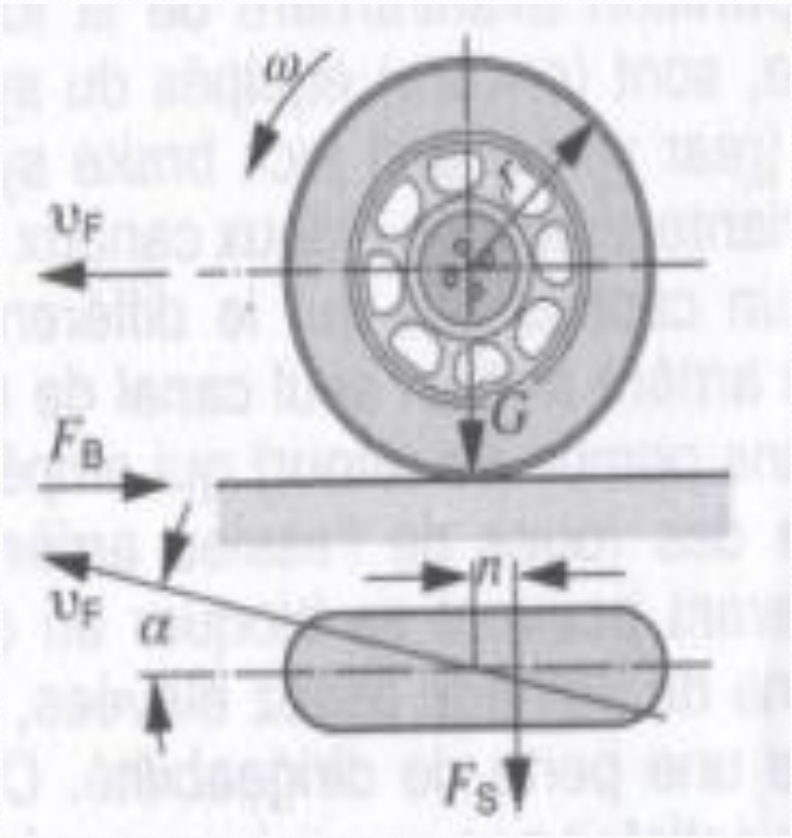
Le contact que la voiture peut avoir avec l'extérieur est double :

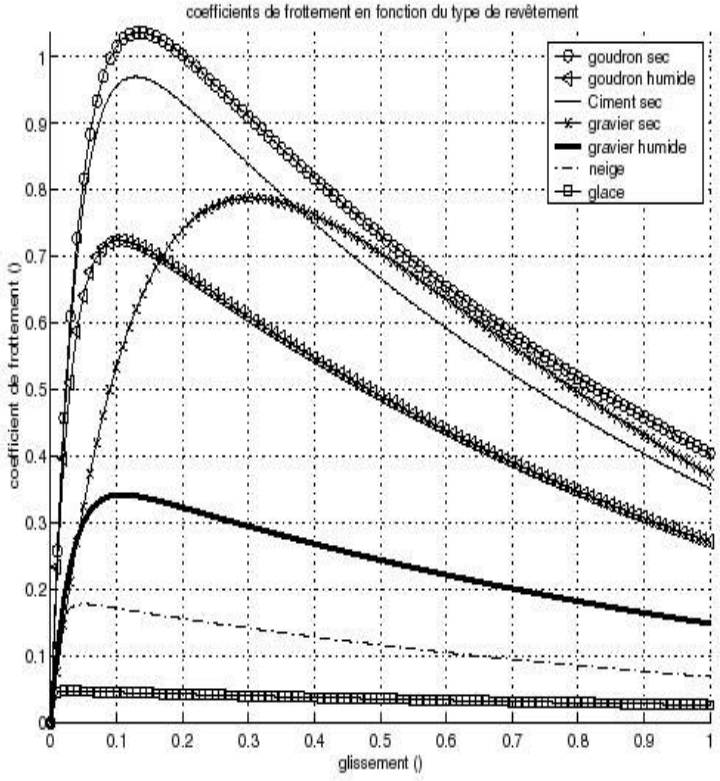
- **Avec l'air : Forces aérodynamiques**
- **Avec le sol : Forces adhérence.**

Pour la force d'adhérence, on distingue :

- une composante longitudinale (accélérer et freiner le véhicule).
- une composante transversale (tourner la voiture).
- une composante normale (supporter la charge et amortir les déformations du sol).

Force d’adhérence





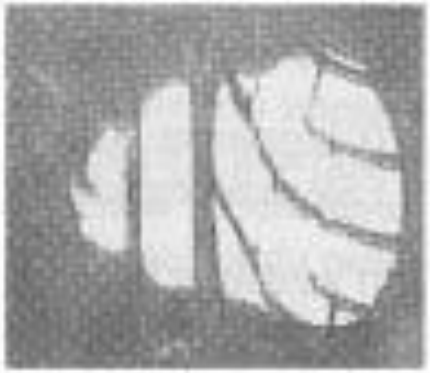
$F_x = F_z \mu(s)$

$F_y = F_z \mu(\alpha)$

Pneumatique

Les impératifs dans le choix du caoutchouc et du profil de la bande de roulement, sont :

- assurer l'adhérence du pneu sur le sol quelles que soient les conditions (sec, mouillé...),
- assurer le guidage du véhicule.



Déformation du pneumatique en roulement

Véhicule en mouvement

⇓

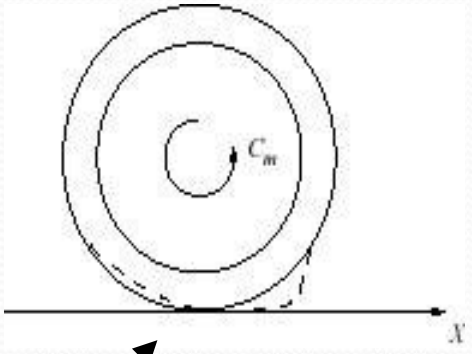
Déformation du pneumatique

⇓

Zone de glissement

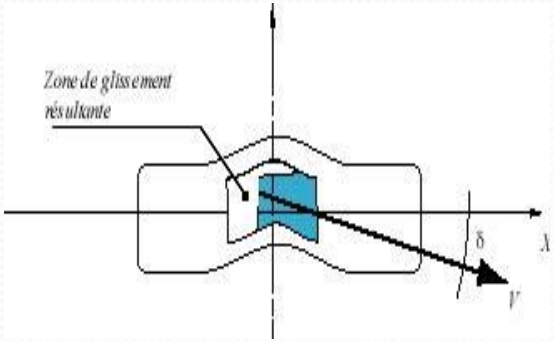
⇓

Force pneumatique
(Longitudinale et latérale)



Zone de glissement

Zone de compression

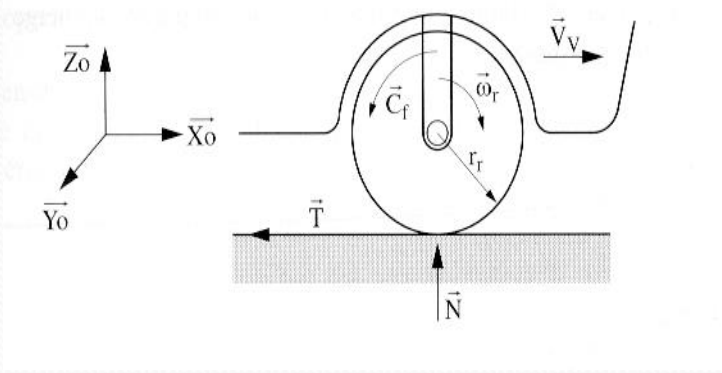


Mouvement longitudinal

Application d'un couple moteur ou de freinage,
le comportement longitudinal du pneumatique est caractérisé par la relation qui existe entre la force longitudinale et la vitesse relative du pneumatique par rapport au sol.

La vitesse relative du pneumatique sur le sol définit un glissement longitudinal :

$$s\% = \frac{V_V - r_r \omega_r}{\max(V_V, r_r w_r)} 100$$



Mouvement longitudinal

Cas de freinage : $s\% = \frac{V_V - r_r \omega_r}{V_V} 100$

Cas de la traction : $s\% = \frac{V_V - r_r \omega_r}{r_r \omega_r} 100$

Si s=0 : Roulement libre

Si s=1 : Blocage de la roue

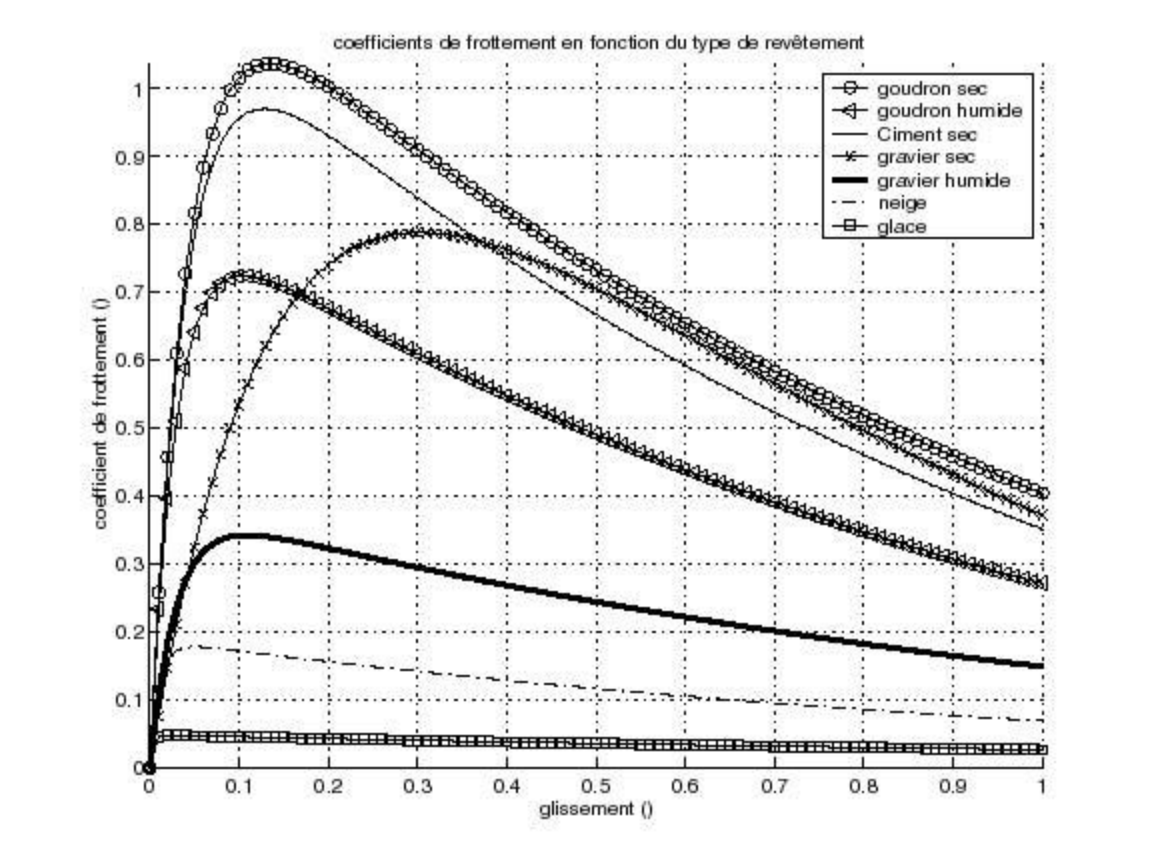
Par principe une roue qui transmet un effort est toujours en glissement.

Mouvement longitudinal

Les études expérimentales ont montrées que la force longitudinale

$$T = \mu(s)N$$

μ : Coefficient d'adhérence

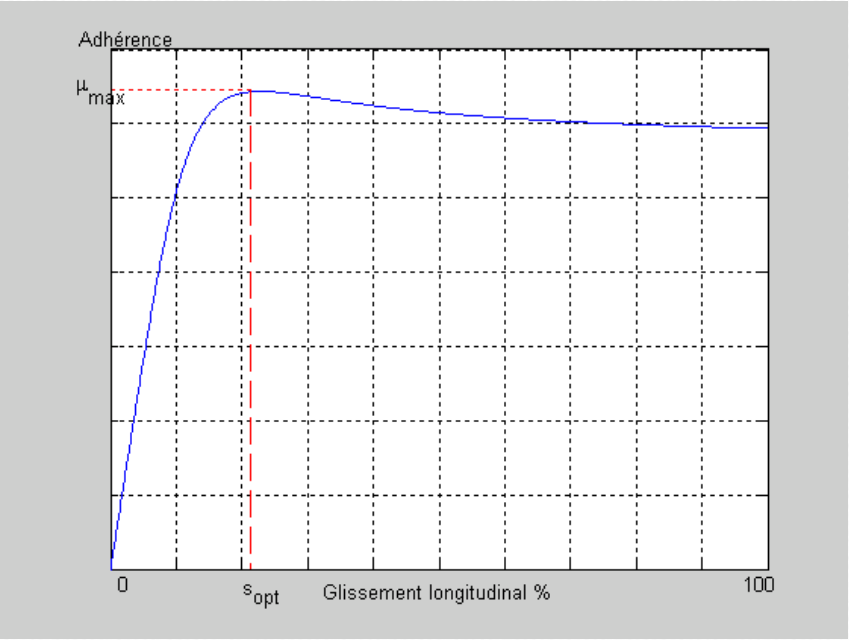


Comportement longitudinal

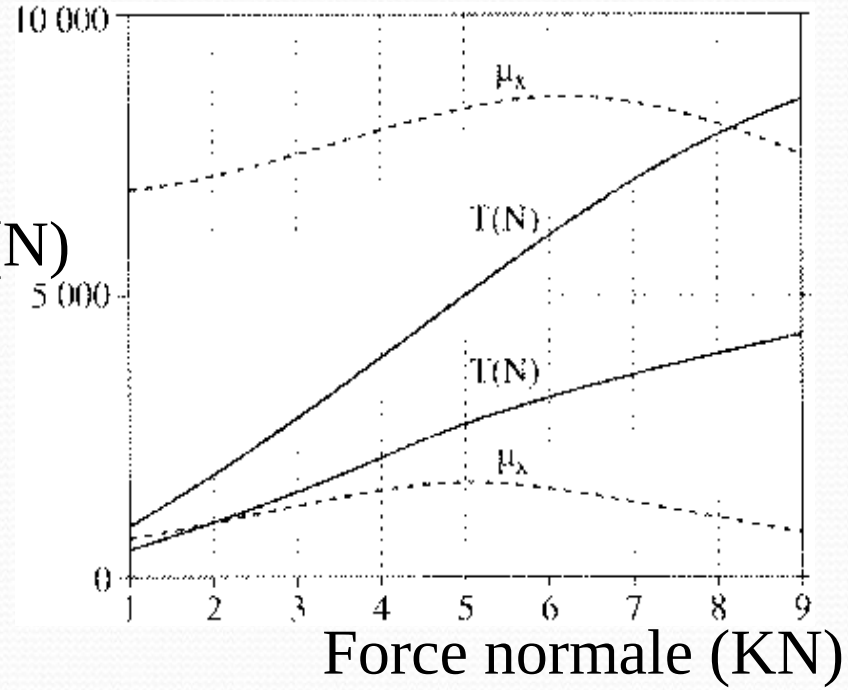
L'évolution du coefficient d'adhérence présente deux zones de fonctionnement :

- la zone stable ($< 0 < s < s_{opt}$),
- la zone instable ($s_{opt} < s < 100\%$).

L'existence de cette zone instable justifie la nécessité d'une régulation de freinage (ABS : Antilock Braking System) ou d'anti- patinage (ASR : Anti Slip Regulation).



Evolution du coefficient de l'adhérence en fonction de la charge



Chaque courbe est valable pour un glissement fixe

Les caractéristiques montrent que le coefficient d'adhérence longitudinale d'un pneumatique présente une valeur optimale pour une charge donnée.

un pneumatique par construction est adapté à certains types de véhicules présentant des charges verticales proches.

Comportement longitudinal

Le caractère instable du comportement longitudinal d'un pneumatique est très problématique et motive l'étude et la mise en oeuvre de nombreuses régulations:

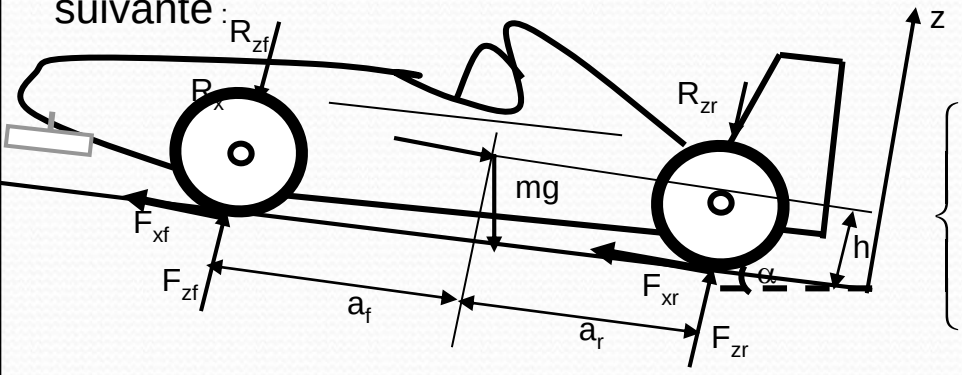
-ABS (Antilock Braking Sytem),
- ASC (Automatic Stability Control),
- ASR (Anti Slip Regulation),
- 4WD (4 Wheel Drive)

But : améliorer la sécurité active des véhicules.

Le comportement fortement non linéaire et la quantité importante d'éléments influant (revêtement, usure, pression, vitesse, etc.) rendent difficiles ces régulations ce qui explique qu'elles sont encore loin d'être optimales.

Dynamique Longitudinale (transfert de charge)

On considère la dynamique longit. du véhicule représentée dans la figure suivante :



Les équations du mouvement du véhicule sur une route de pente α dans le plan (ox,oz) sont :

$$\begin{cases} m\dot{v} = F_{xf} + F_{xr} - R_x - mg.\sin(\alpha) \\ 0 = F_{zf} - R_{zf} + F_{zr} - R_{zr} - mg.\cos(\alpha) \\ 0 = (F_{zf} - R_{zf})a_f - (F_{zr} - R_{zr})a_r + (F_{xf} + F_{xr})h \end{cases}$$

$\dot{v}$ est l'accélération du véhicule, m sa masse, F_{xf}, F_{zf}, F_{xr} et F_{zr} désignent les forces aux points de contact pneus/sol à l'avant et à l'arrière dans les directions x et z du repère (ox,oz), g l'accélération de la pesanteur, h la hauteur du centre de gravité, R_{zf} et R_{zr} sont les forces aérodynamiques de portance des essieux avant et arrière et R_x la traînée aérodynamique.

Dynamique Longitudinale

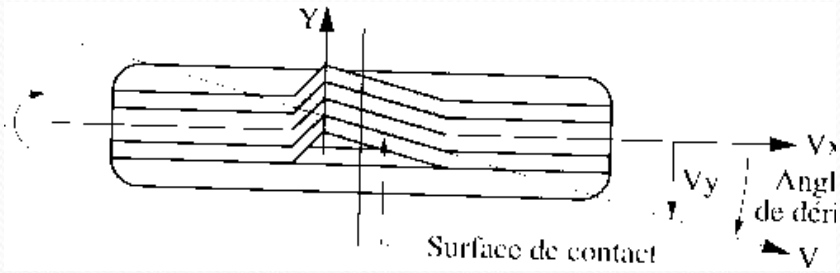
On suppose que les forces aérodynamiques sont négligeables et la route est plane de pente nulle (α =0), les forces normales F_{zf} et F_{zr} s'écrivent :

$$F_{zf} = mg\left[\frac{a_r}{a_r + a_f} - \frac{h}{a_f + a_r}\frac{\dot{v}}{g}\right] \qquad F_{zr} = mg\left[\frac{a_f}{a_r + a_f} + \frac{h}{a_f + a_r}\frac{\dot{v}}{g}\right]$$

$$-\frac{a_f}{h} \leq \frac{\dot{v}}{g} \leq \frac{a_r}{h}$$

Comportement transversal

En virage, la déformation du pneumatique entraîne une force latérale :



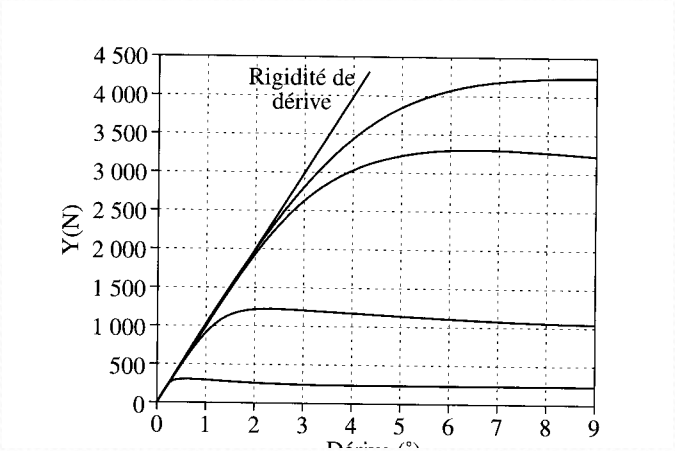
Un pneumatique fournissant un effort transversal subit une déformation qui modifie sa trajectoire d'un angle de dérive.

L'angle de dérive est défini par : $\alpha = \arctan\left(\frac{V_y}{V_x}\right)$

Comportement transversal

L'angle de dérive est défini par : $\alpha = \arctan\left(\frac{V_y}{V_x}\right)$

L'effort transversal est défini par : $F_y = f(\alpha) = \mu(\alpha)N$



Comportement fortement non linéaire

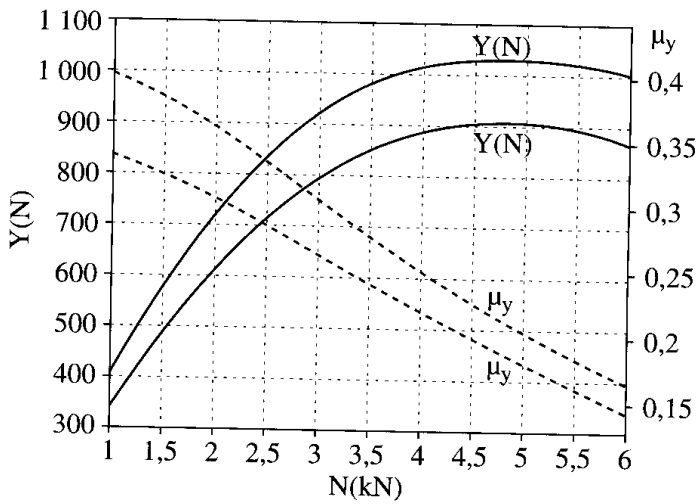
Zone linéaire : faible dérive

$F_y = C.\alpha$ C : rigidité du dérive

Plus la rigidité de dérive d'un pneumatique est élevée, plus celui-ci est apte à répondre à des sollicitations transversales importantes et meilleur sera le comportement du véhicule.

Influence de la charge sur F_y

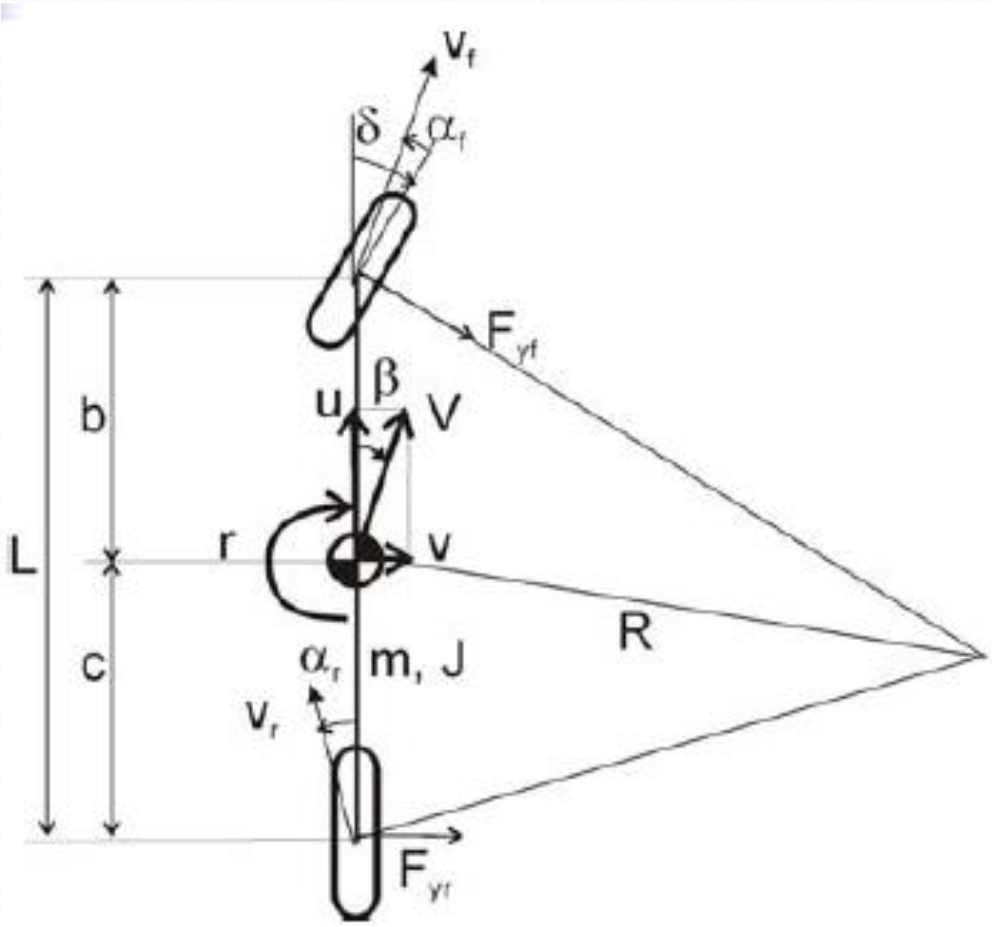
Pour deux angles de dérive donnés

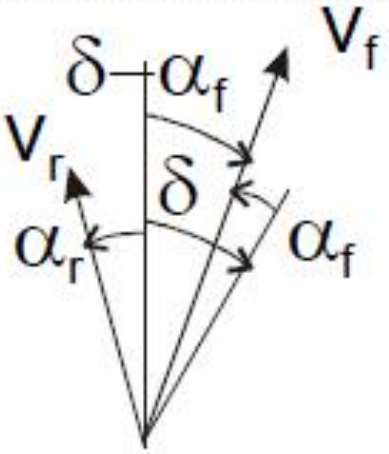


- augmentation de la charge verticale ne tend pas toujours à accroître l'effort transversal.
- Phénomène de saturation
- Augmentation de la charge tend à diminuer le potentiel transversal d'un pneumatique.

Cette constatation est de première importance pour l'étude du comportement d'un véhicule en virage et motive par exemple l'étude de système d'antiroulis actif.

Mouvement en virage stationnaire (vitesse constante)





Mouvement en virage stationnaire (vitesse constante)

De l'angle de dérive dépend le comportement caractéristique d'un véhicule.

- effet neutre : dérive avant= dérive arrière
- effet sous-vireur : dérive avant>dérive arrière
- effet sur-vireur : dérive avant<dérive arrière

$$\delta = \frac{a}{R} + \alpha_f - \alpha_r$$

Véhicules ont une tendance sous virage (AV ↗ la stabilité IN ↘ maniabilité)
Au fur et à mesure que le survirage ↗ l'instabilité également)

Survirage et sous-virage

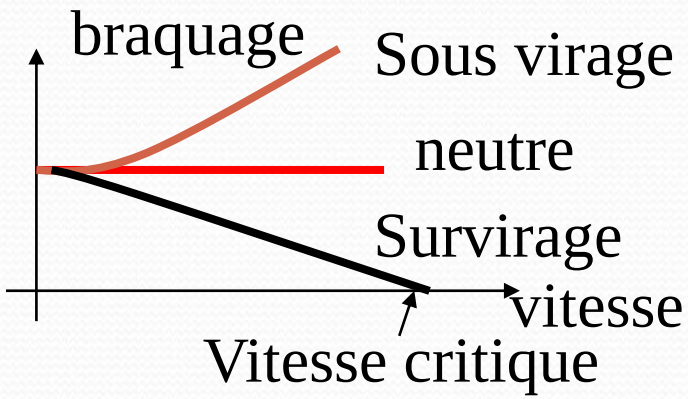
$$\begin{cases} F_{yf} + F_{yr} = ma_y \\ bF_{yf} - cF_{yr} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_{yf} = m_f \dfrac{V^2}{R} \\ F_{yr} = m_r \dfrac{V^2}{R} \end{cases}$$

$$\alpha_f = \frac{F_{yf}}{2C_f} \qquad \alpha_r = \frac{F_{yr}}{2C_r}$$

$$\frac{\alpha_f}{\alpha_r} = \frac{c\,C_{\alpha r}}{b\,C_{\alpha f}}$$

$$\delta = \frac{a}{R} + K_v a_y$$

Véhicule neutre	$K_v = 0$	$\frac{m_f}{C_f} = \frac{m_r}{C_r}$
Véhicule sous-vireur	$K_v > 0$	$\frac{m_f}{C_f} > \frac{m_r}{C_r}$
Véhicule survireur	$K_v < 0$	$\frac{m_f}{C_f} < \frac{m_r}{C_r}$



Causes de survirage ou de sous-virage

Angle de dérive ↘ si ↗ la pression et la charge.

Pneumatiques avant et arrière différents. En général, ceci ne se produit que sur les voitures de compétition: dans les voitures de série, on utilise presque toujours des pneumatiques identiques qui sont seulement gonflés à des pressions différentes pour les deux essieux.

Le fait de gonfler davantage les pneumatiques arrière a pour conséquence d'avoir des angles de dérive plus grands à l'avant qu'à l'arrière, ce qui rend la voiture sous-vireuse.

Interaction avec l’air

L’air s'exerce sur le véhicule une action à six composantes: trois d'efforts et trois de moments. Cette action est liée à la vitesse V du véhicule, à sa surface de référence, à sa longueur E et aux coefficients caractéristiques de la forme du véhicule.

Pour les forces aérodynamiques, on distingue :

- La traînée qui résiste à l’avancement du véhicule.
- La portance qui tend à soulever ou à plaquer le véhicule au sol.
- La dérive qui tend à déporter transversalement le véhicule (par exemple le coup de vent latéral).

Interaction avec l'air

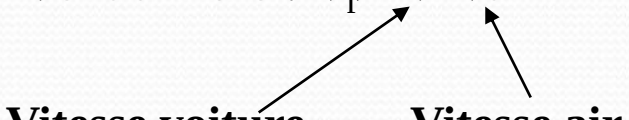
Traînée aérodynamique : $R_x = \frac{1}{2}\rho V_r^2 S C_x$

Portance $R_z = \frac{1}{2}\rho V_r^2 S C_z$

Effort transversal $R_y = \frac{1}{2}\rho V_r^2 S C_y$

Vent de face : $V_r = V + Va$

Vent arrière : $V_r = V - Va$



Moment de tangage $M_y = \frac{1}{2}\rho V_r^2 S E C_{my}$

Moment de roulis $M_x = \frac{1}{2}\rho V_r^2 S E C_{mx}$

Moment de lacet $M_z = \frac{1}{2}\rho V_r^2 S E C_{mz}$

ρ: masse volumique de l'air

S: Surface de la section

C_x: Coefficient de pénétration

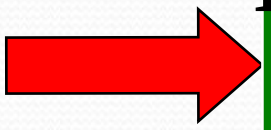
C_z: Coefficient de portance

C_{mz},C_{my} C_{mx} coefficients du lacet, tangage et roulis

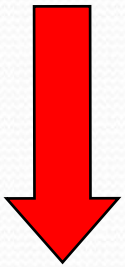
E : empattement

Systèmes de sécurité active

ABS
TC
ESP
Suspension active



Performances du véhicule



“ SAFETY ”

Système ABS

Historique de l'ABS

1952: Apparition sur les avions.

1978: Apparition sur les voitures

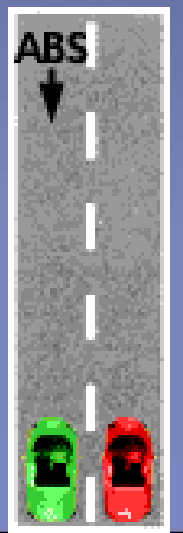
grâce à l'équipementier Bosch.

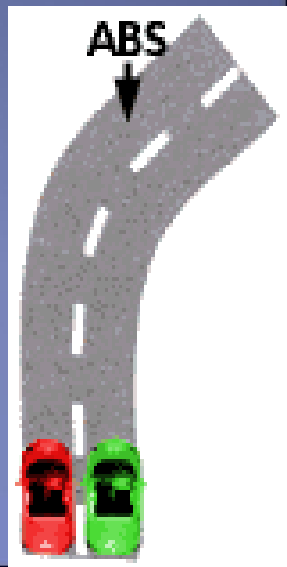
Aujourd'hui: En série sur toutes les gammes de véhicules.

Rôle:

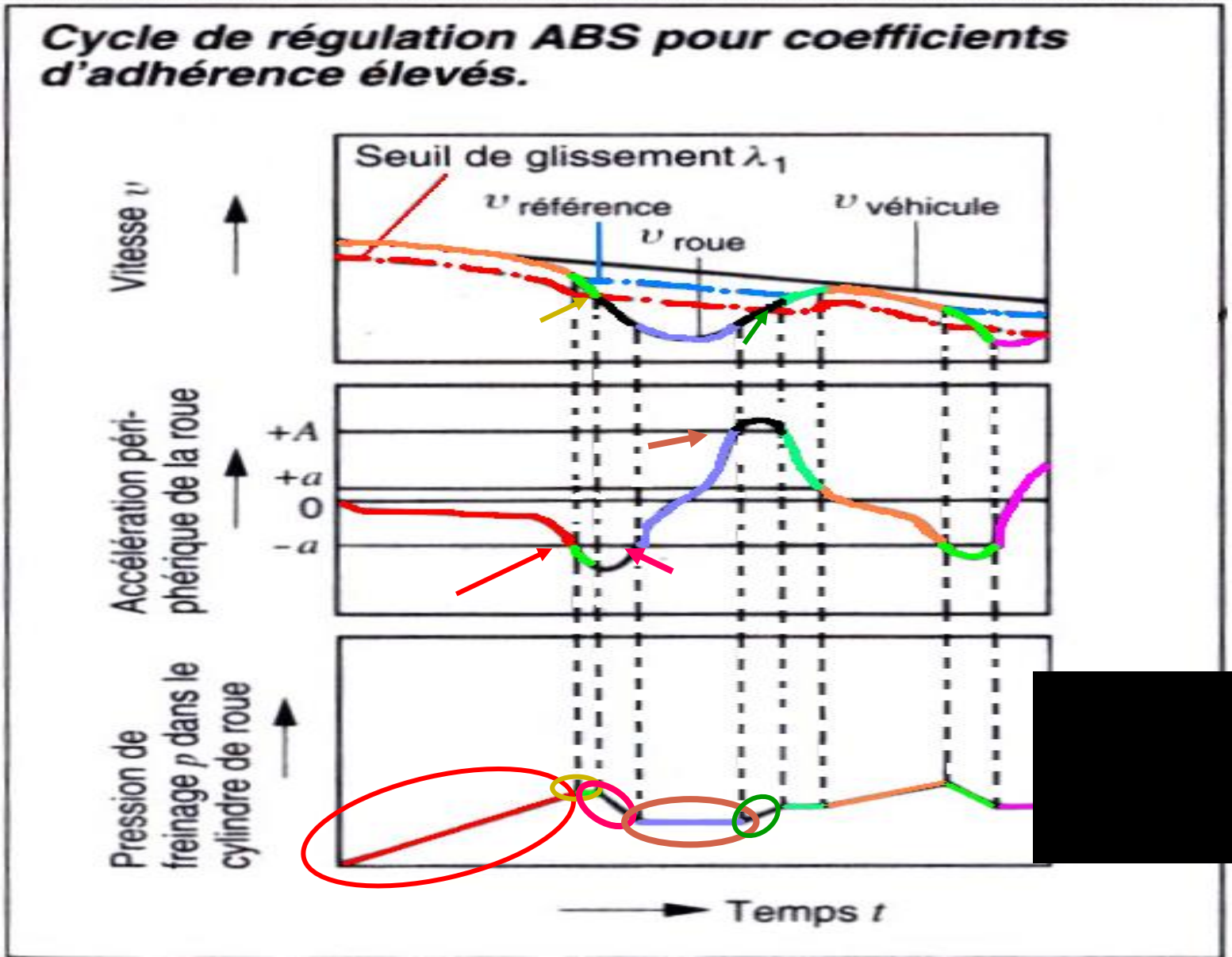
Empêcher le blocage des roues au freinage.

Agit dès qu'une roue veut se bloquer.

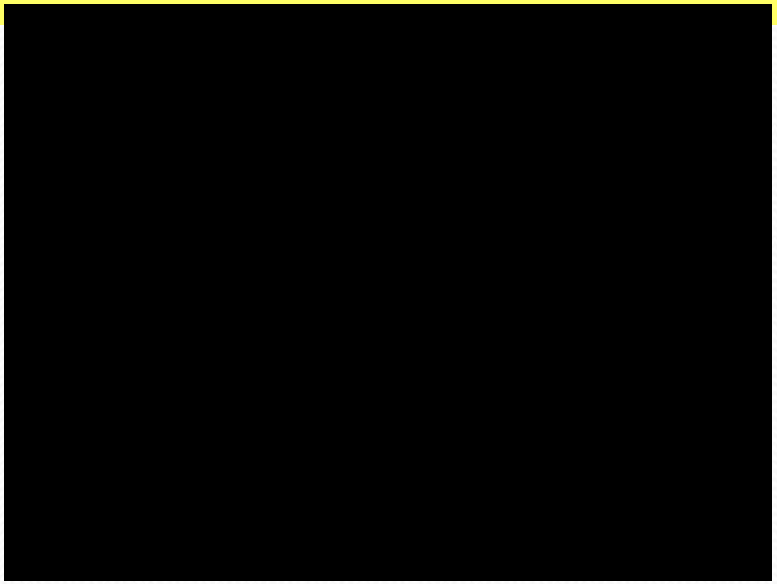


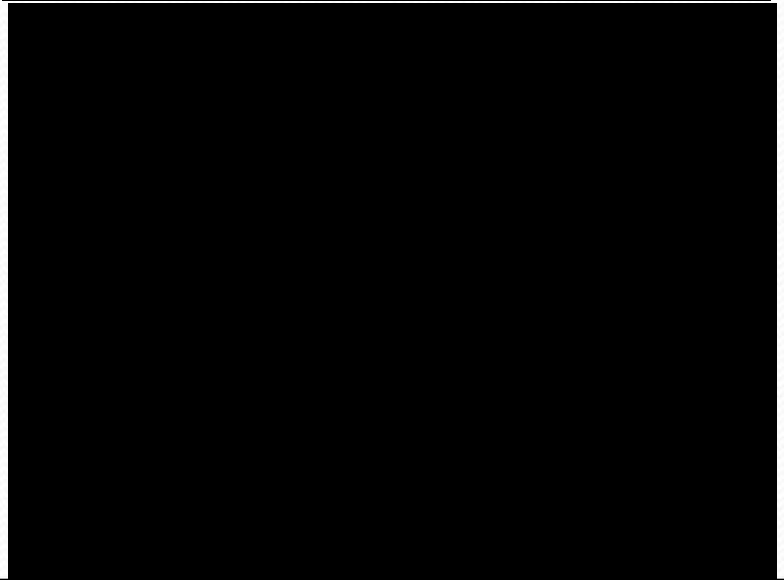


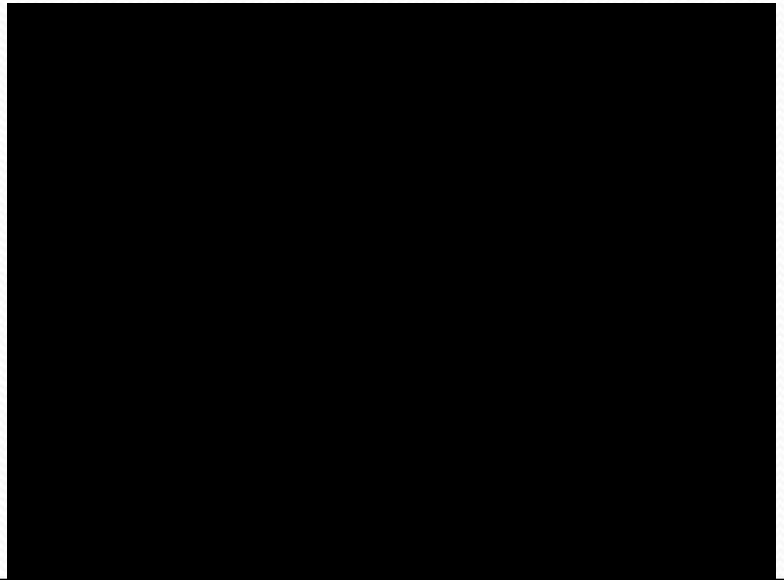
Amélioration du freinage : ABS



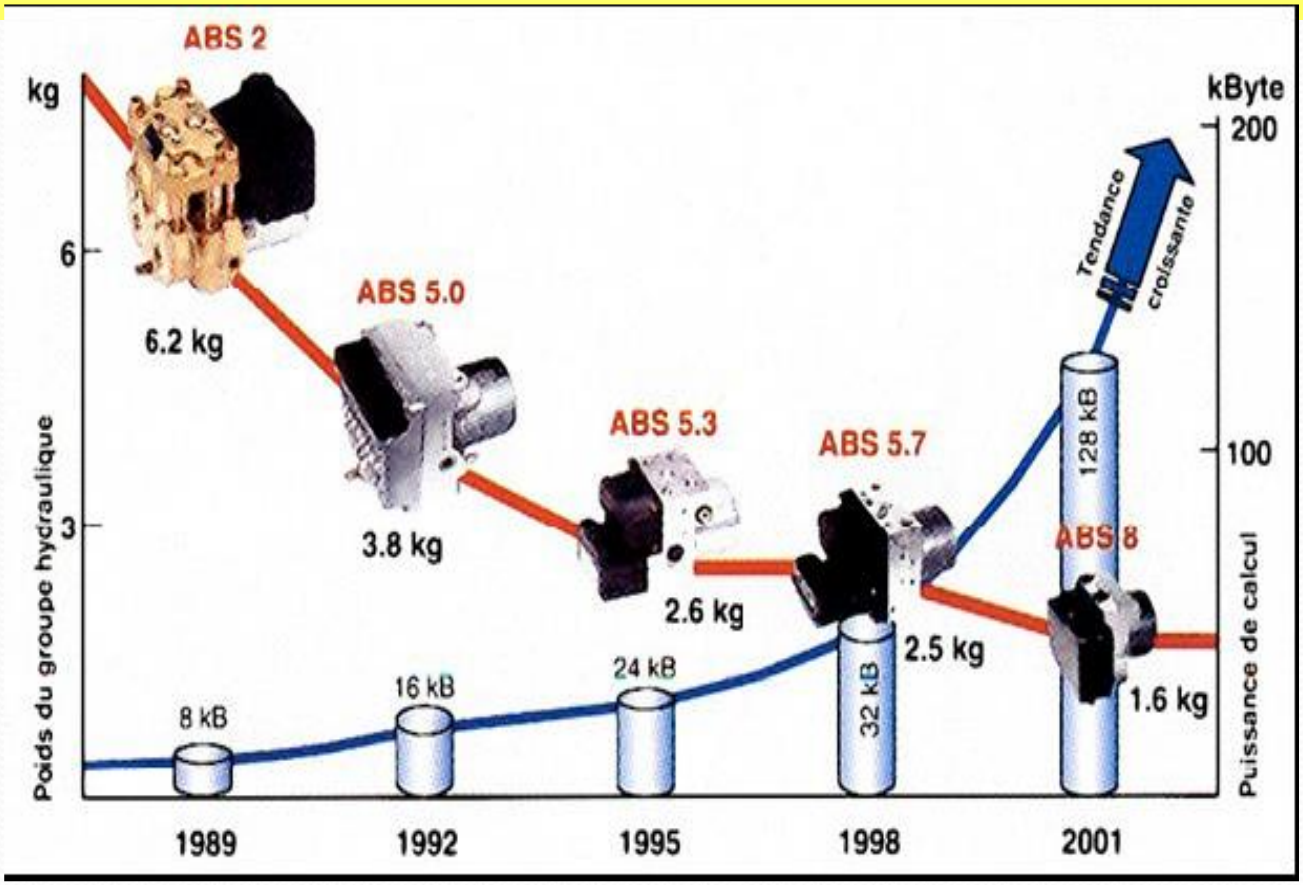
ABS BOSH



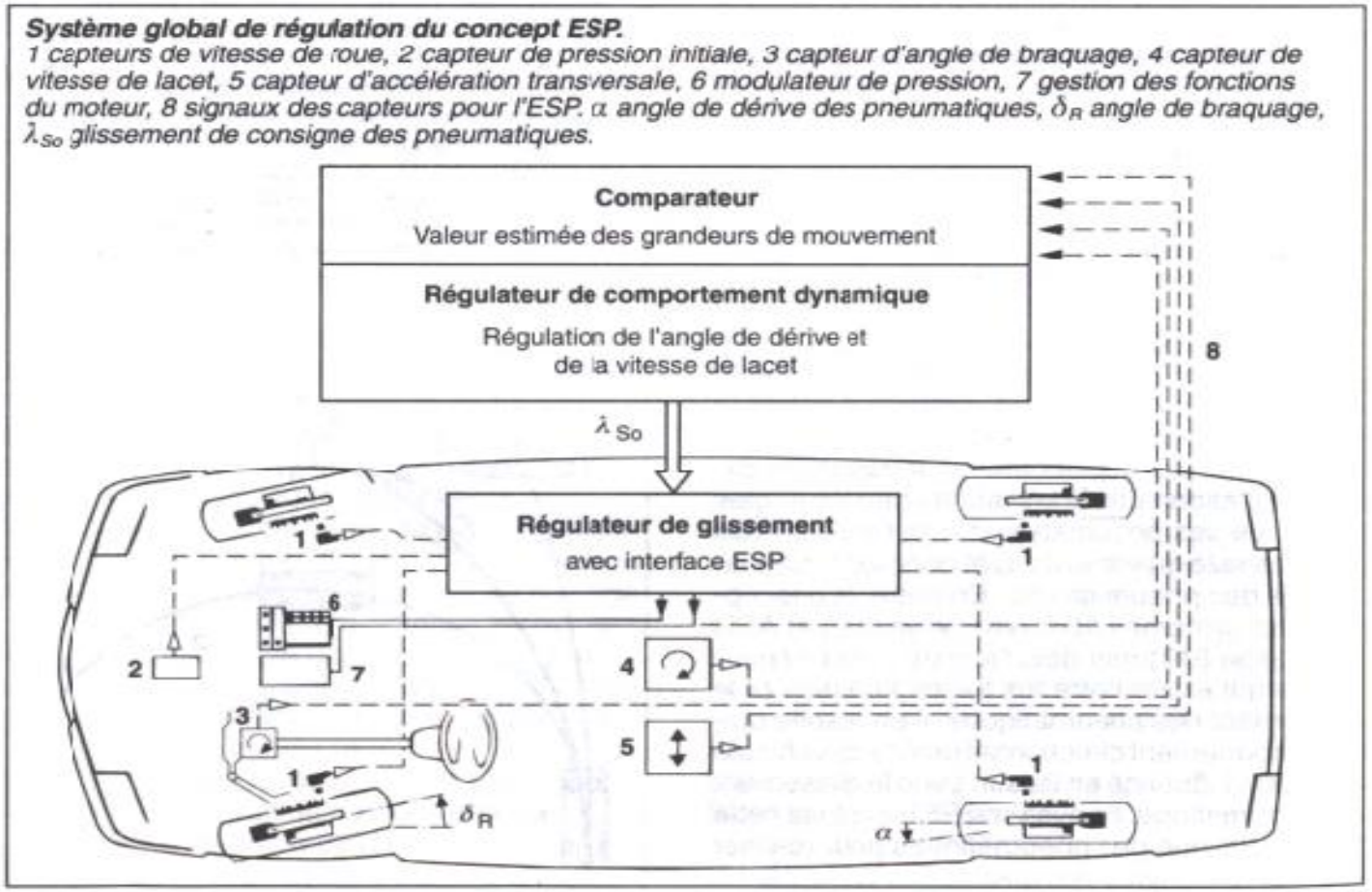




Evolution de l'ABS

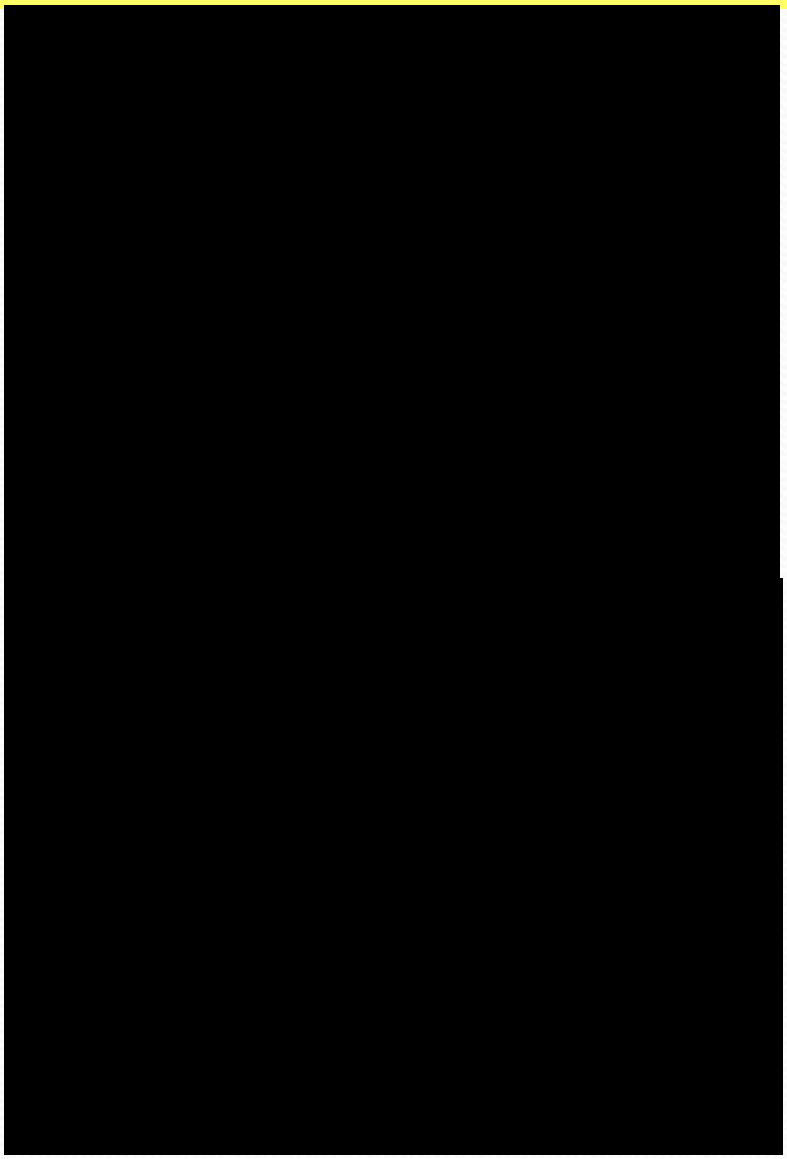


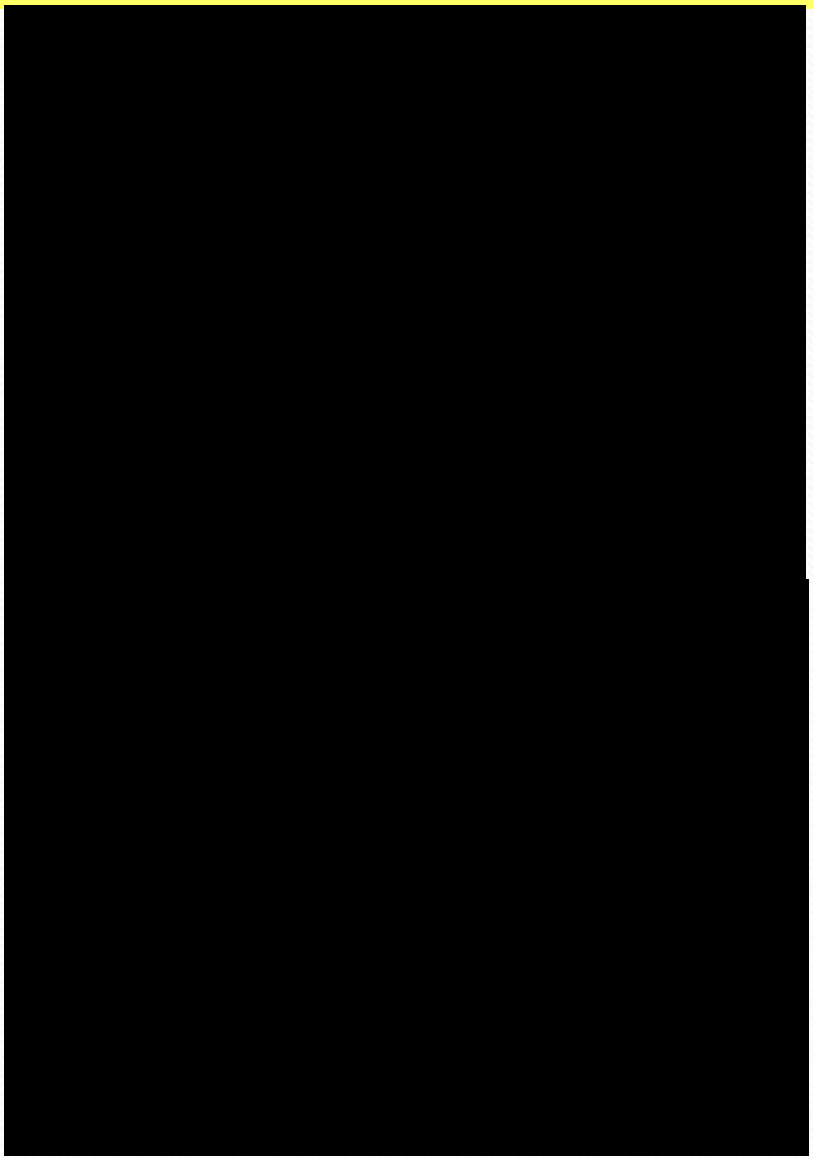
ESP: Principe de fonctionnement



Système global de régulation du concept ESP.
1 capteurs de vitesse de roue, 2 capteur de pression initiale, 3 capteur d'angle de braquage, 4 capteur de vitesse de lacet, 5 capteur d'accélération transversale, 6 modulateur de pression, 7 gestion des fonctions du moteur, 8 signaux des capteurs pour l'ESP. α angle de dérive des pneumatiques, δ_R angle de braquage, λ_{So} glissement de consigne des pneumatiques.

ESP BOSH



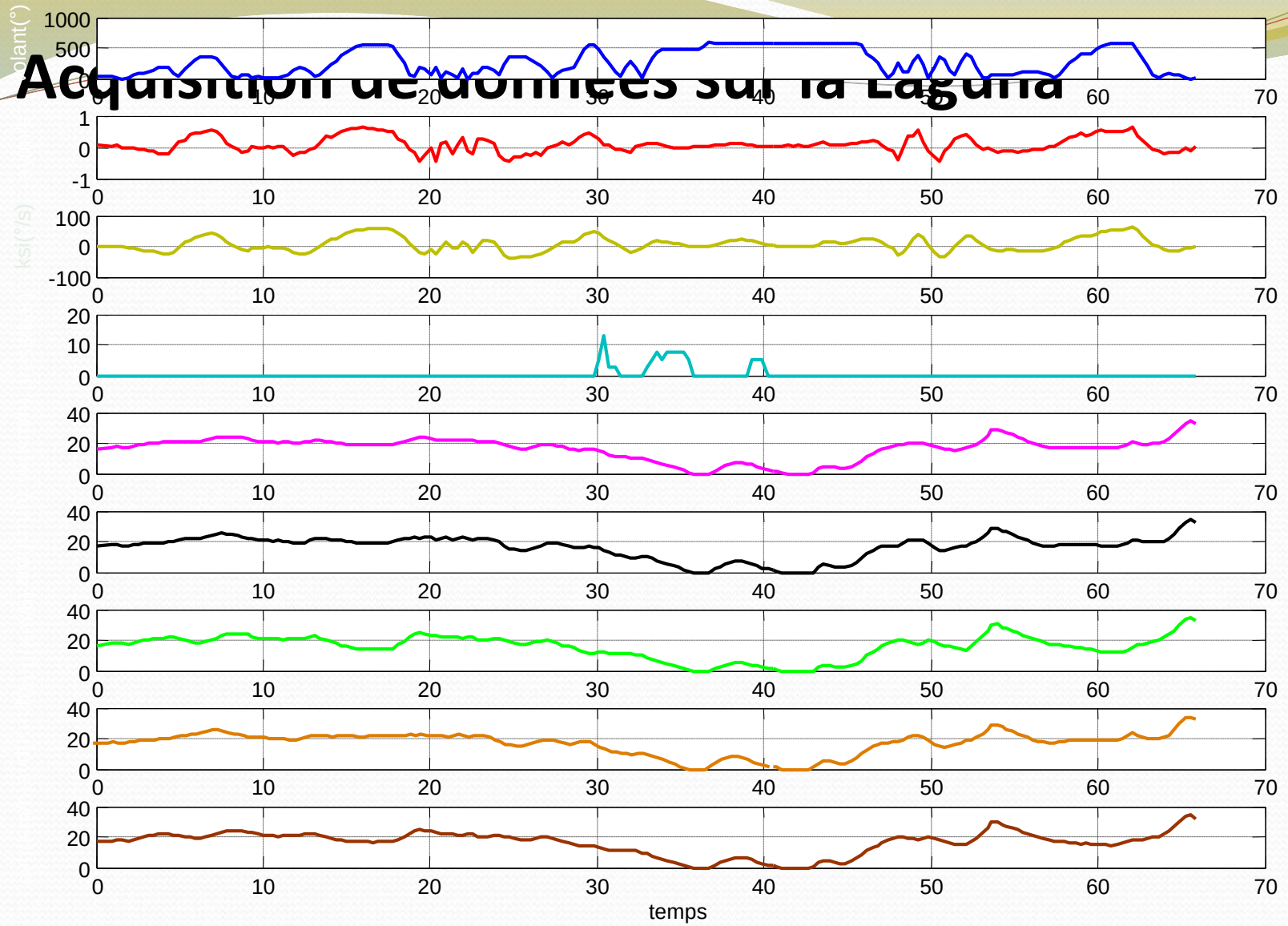


Acquisition de données

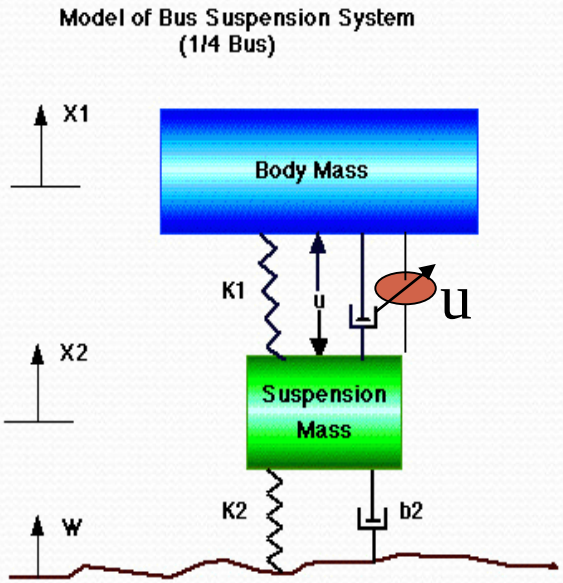
Prise de diagnostic

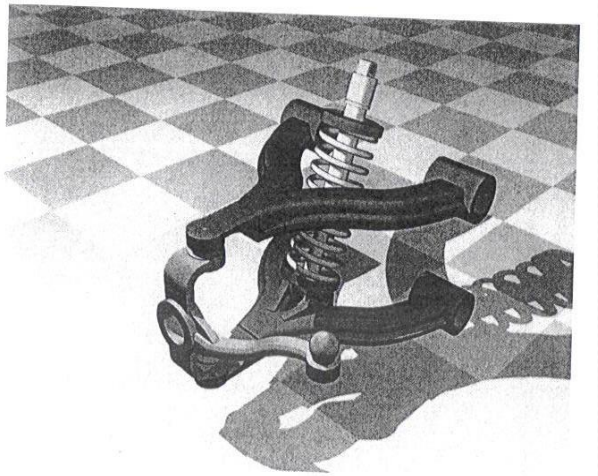
Système d'acquisition de données

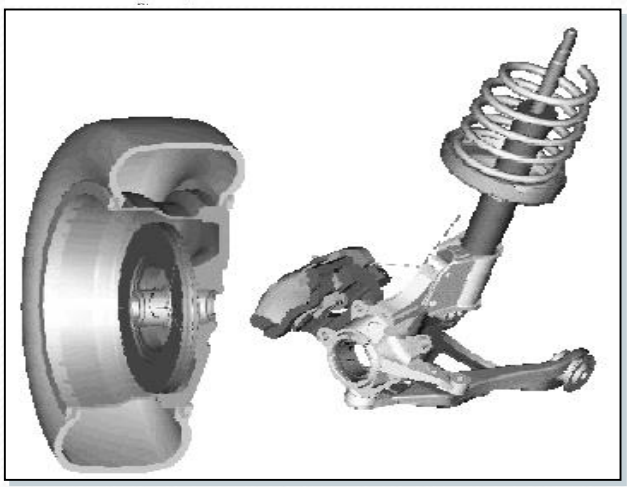
Acquisition de données sur la Laguna



Suspension







Le système ABC (Active Body Control) de Mercedes.

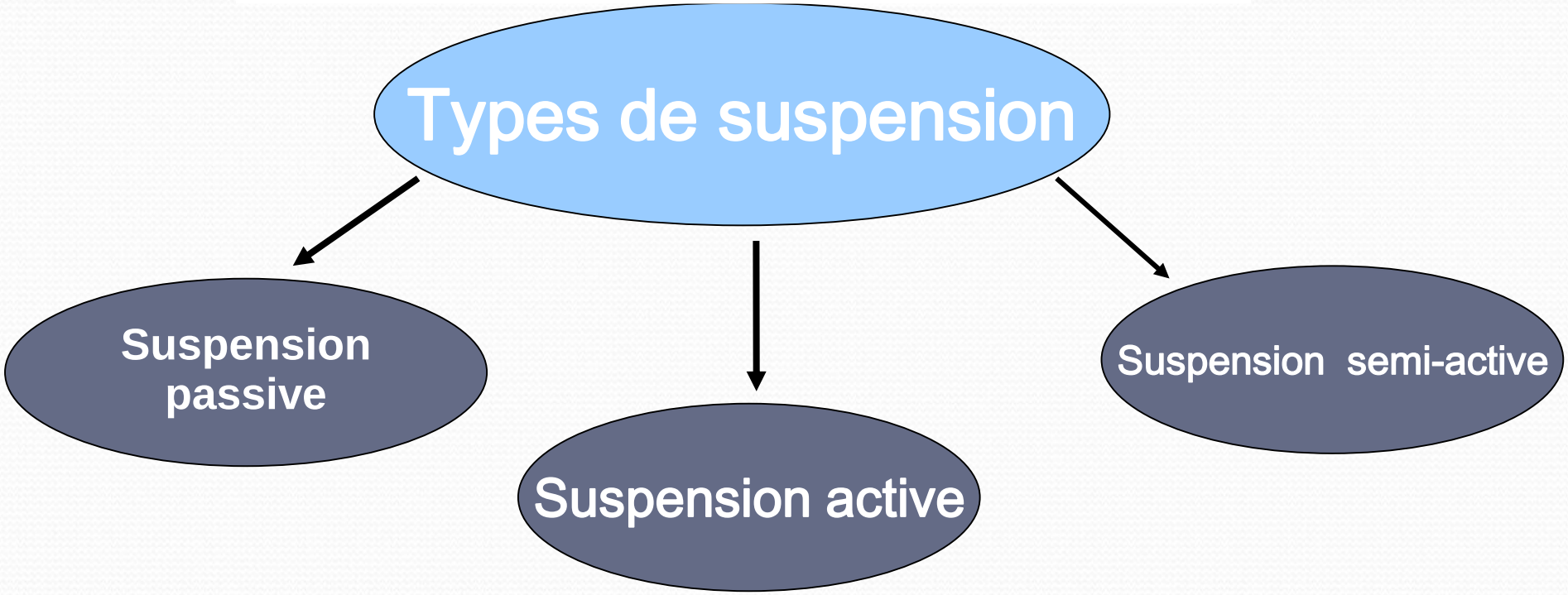
Suspension

Objectifs :

- ✓Supporter le poids et la charge du véhicule en limitant l'amplitude des débattements.
- ✓Confort : filtrer les irrégularités de la route
- ✓Sécurité : tenue de la route en maintenant les roues en contact avec le sol

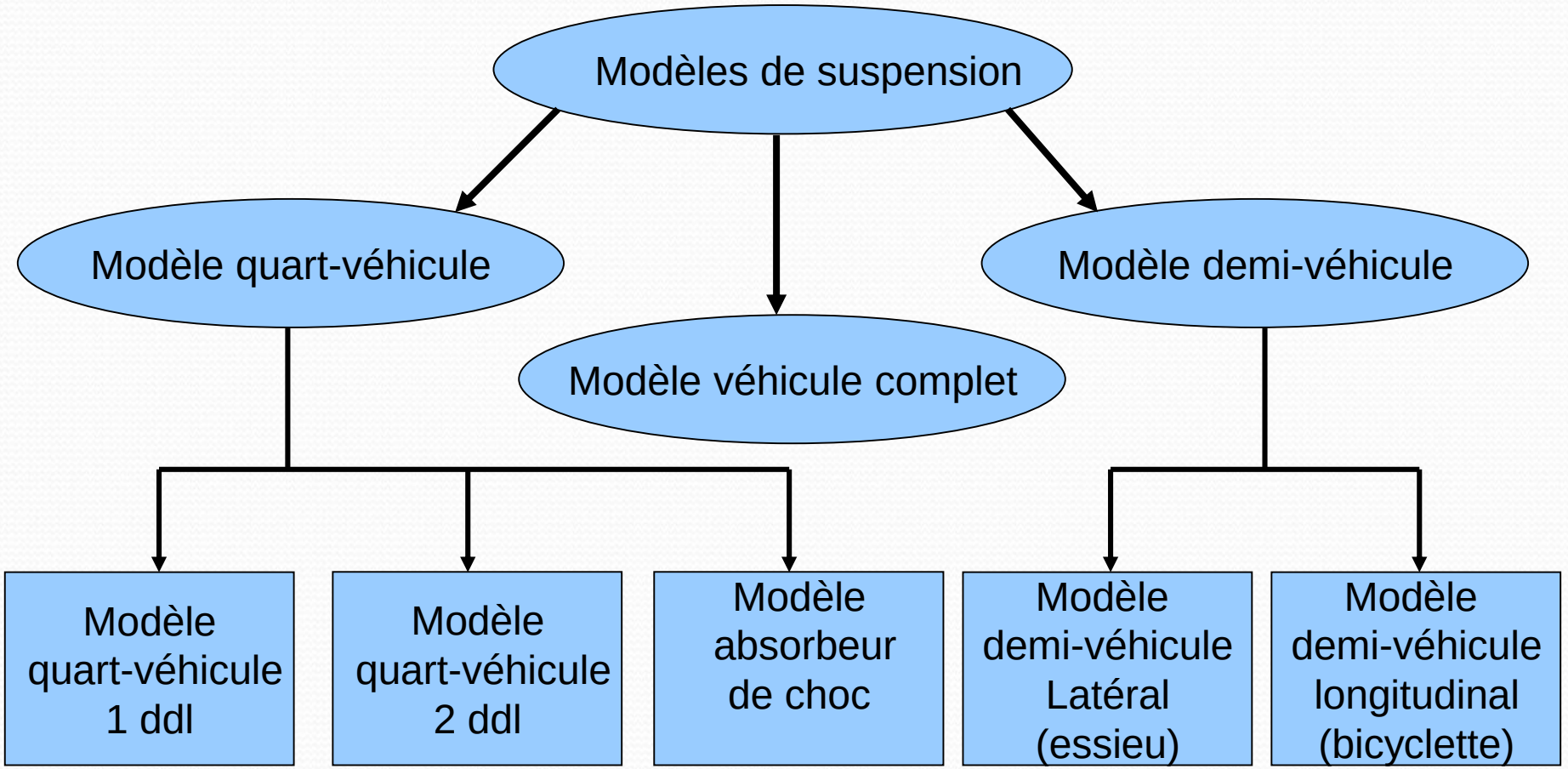
Présentation générale de système

différents types de suspension



Présentation générale de système

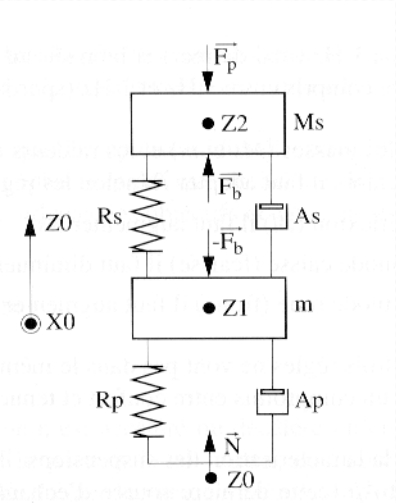
Différents modèles de véhicule



Suspension

La suspension sert à assurer le confort de conduite, améliorer la sécurité et à ménager le changement et les éléments du véhicule :

- Maintenir les roues en contact avec le sol,
- Filtrer les irrégularités de la route
- Limiter l'amplitude des débattements



Ecrasement : $$\Delta l = \frac{M_s g(R_p + R_s)}{R_p R_s}$$

Pour une charge donnée, plus les raideurs sont faibles plus les débattements sont élevées

2 masses en « chapelet »

Suspension et confort

Le sentiment de confort est directement lié aux fréquences propres de la suspension. Une suspension possède deux modes propres :

Mode de pompage de la caisse : $f_{caisse} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{R_p R_s}{(R_p + R_s)M_s}}$

Mode de battement de la roue : $f_{roue} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{R_p + R_s}{m}}$

Mode caisse le plus faible possible pour filtrer au maximum les sollicitations de la route $\Rightarrow$ accroître le confort du passagers

Le mode roue doit être élevé afin de maintenir le contact avec le sol $\Rightarrow$ accroître la tenue de route

Suspension et confort

Remarques :

-Les spectres fréquentiels des sollicitations des profils routiers deviennent très peu énergétiques au-delà de 10 Hz.

-Le corps humain est très sensible aux modes de fréquences <1 Hz.
(mal de mer)

Mode de pompage caisse entre 1 et 2 Hz (sportive), Mode roue >10Hz

Si on suppose que Ms, m et R_p fixe, alors il faut choisir R_s :

- pour limiter la déflexion il faut augmenter R_s.
- pour abaisser le mode caisse il faut diminuer R_s.
- pour accroître le mode roue il faut augmenter R_s.

Suspension et confort

Effet de l'amortissement A_s

$$\frac{Z_2(s)}{Z_0(s)} = \frac{R_sR_p + (A_pR_s + A_sR_p)s + A_sA_ps^2}{R_sR_p + (A_pR_s + A_sR_p)s + (A_sA_p + R_sm + R_sM_s + R_pM_s)s^2 + (A_sm + A_sM_s + A_pM_s)s^3 + mM_ss^4}$$

$$\frac{Z_1(s)}{Z_0(s)} = \frac{R_sR_p + (A_pR_s + A_sR_p)s + (A_sA_p + R_pM_s)s^2 + A_pM_ss^3}{R_sR_p + (A_pR_s + A_sR_p)s + (A_sA_p + R_sm + R_sM_s + R_pM_s)s^2 + (A_sm + A_sM_s + A_pM_s)s^3 + mM_ss^4}$$

Courbe de gain Bode de $Z_2(s)/Z_0(s)$: si R_s augmente
BP augmente et phénomène d'instabilité augmente
une raideur de suspension très élevée rend le véhicule très inconfortable

$Z_1(s)/Z_0(s)$: $R_s \nearrow$ on a un effet déstabilisant $\Rightarrow$problème de sécurité

Un amortissement élevé limite les oscillations des réponses indicielles et engendre plus de confort